

ANALISA KEANDALAN TERHADAP LIFETIME SYSTEM PENDINGIN KAPAL IKAN KM. RUKUN ARTA SENTOSA 06 MENGGUNAKAN REFRIGERAN CO₂ DAN KOMPRESI BANTU DARI ENERGI PANAS

Eko Sasmito Hadi*, Parlindungan Manik*

* Program Studi Teknik Perkapalan Fakultas Teknik UNDIP

ABSTRACT

The cooling system using CO₂ refrigerant is one of the vital systems to increase the quality of hauled fishing and it is more effective and more efficient and also this system is environmentally harmless than the conventional cooling system. Reliability is one of so many criteria that had to be concerned in the process of taking the decision of invention such as planning/drafting, production, or reparation process.

The aim of this research is to evaluate the design of fish hatch cooling system using CO₂ refrigerant and auxiliary compression by heat power in KM. RAS (Rukun Arta Sentosa) 06 using the approximation based on reliability. Some steps that had been used in this research are collecting the data, design process, and evaluation by qualitative and quantitative approach. The qualitative approach is using the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) method and also using Fault Tree Analysis (FTA) method. Otherwise, the quantitative approach is using the method of Markov Process. Analytical approach is done by make a design model of the available invention system through the block diagram reliability and decrease the reliability function of the system, and for the next step those system is to be used as the base rule of quantitative evaluation system.

The report of the research tells that the severity level and the failure rate are showed in some components, such as compressor, condenser, heat exchanger and expansion valve. The analytical approach will obtain the value of MTTF (Mean Time To Failure) system for 250 hours and the availability value is 0,6308 or 63,08% and the unavailability value is 0,3692 or 36,92%.

Keywords : Reliability, CO₂ refrigerant, Markov Process, Availability.

PENDAHULUAN

Salah satu metode pendinginan yang dipakai untuk menjaga kesegaran ikan itu adalah dengan teknologi refrigerasi. Mesin pendingin dengan teknologi refrigrasi di kapal biasanya menggunakan refrigeran HCFC (Hidro-Chloro-Fluoro-Carbon) misalnya jenis R22.

Akan tetapi setelah masyarakat mengetahui hipotesa bahwa HCFC termasuk *Ozone Depleting Substance* (ODS), yaitu zat yang dapat menyebabkan kerusakan ozon, masyarakat mulai mencoba melakukan penghentian pemakaian ODS.

Oleh karena itu perlu dicarikan refrigeran yang lebih baik dan ramah lingkungan. Adapun propertis atau karakteristik dari referigeran antara lain :

Tabel. 1.1 Propertis Referigeran
(www.iifir.org)

Refrigerant	R12	R22	R134a	R290	NH ₃	CO ₂
Natural Fluid	No	No	No	Yes	Yes	Yes
ODP ³	0.82	0.055	0	0	0	0
GWP (100yr) IPCC values ³	8100	1500	1300	20	<1	<1
GWP (100yr) IPCC values ⁴	10600	1900	1600	20	<1	1
Critical temp. (°C) ³	112.0	96.2	101.2	96.7	132.3	31.1
Critical pressure (Mpa) ³	4.14	4.99	4.06	4.25	11.27	7.38
Flammable	No	No	No	Yes	Yes	No
Toxic	No	No	No	No	Yes	No
Relative Price	-	1.0	4.0	0.3	0.2	0.1
Volumetric capacity	1.0	1.6	1.0	1.4	1.6	8.4

Keterangan :

ODP = *Ozone Depletion Potential*

GWP= *Global Warming Potential*

Tabel 1.1 propertis refrigeran memperlihatkan bahwa refrigeran CO₂ memiliki banyak kelebihan antara lain merupakan gas yang tidak beracun, tidak mudah terbakar dan **ramah lingkungan** karena tidak merusak lapisan ozon di atmosfer atau tingkat ODP nya 0 (nol).

Selain mempunyai kelebihan atau sifat tersebut diatas, gas CO₂ mempunyai efek yang mirip dengan refrigerant yaitu apabila dilakukan pemampatan dalam tabung kemudian dilakukan pelepasan maka akan terjadi pengembunan yang disertai terbentuknya bunga es yang melingkupi tabung tersebut. Karena sifat ini, gas CO₂ dimanfaatkan dalam industry pengawetan bahan makanan dengan cara mengubah fasenya menjadi padat dan disebut dry ice.

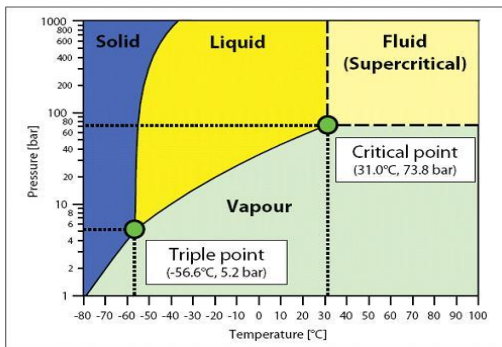
Sehubungan dengan hal tersebut di atas, rekayasa mesin pendingin refrigerant CO₂ dipandang lebih efektif dan lebih efisien serta ramah lingkungan dibandingkan dengan mesin pendingin konvensional. Dan keandalan merupakan sedikit dari banyak kriteria yang harus dipertimbangkan dalam pengambilan keputusan rekayasa seperti perencanaan, produksi, ataupun pemeliharaan.

TINJAUAN PUSTAKA

Karakteristik Gas CO₂

Karakteristik refrigerant merupakan suatu yang digunakan sebagai patokan dalam perlakuan siklus refrigerant. Gas CO₂ mempunyai karakteristik sebagai fluida superkritis, artinya mempunyai temperature kritis yaitu temperatur tertinggi yang dapat mengubah fase gas menjadi fase cair dengan cara menaikkan tekanan dan mempunyai tekanan kritis yaitu tekanan tertinggi yang dapat mengubah fase cair menjadi fase gas dengan cara menaikkan temperature.

Gambar 2.1 diagram karakter gas CO₂ sebagai fluida superkritis



Fenomena SCF (*super critical liquid*) dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Dalam kurva menunjukkan keseimbangan antara tekanan dan temperatur yang dapat menggambarkan status CO₂ dalam keadaan padat, cair dan gas.
2. Mengikuti kurva didih, menunjukkan kenaikan tekanan dan temperatur yang diikuti dengan perubahan komposisi bentuk cair dan bentuk gas, bentuk cair semakin sedikit dan bentuk gas semakin banyak.
3. Kenaikan tekanan dan temperatur pada titik tertentu yang disebut "critical point" merubah kondisi bentuk cair menjadi bentuk gas keseluruhan. Kondisi ini terjadi pada tekanan 73,8 bar dan temperatur 31,1°C.

Konsep Keandalan Berdasarkan Distribusi Probabilitas

Distribusi probabilitas dalam konsep keandalan adalah model matematika yang menghubungkan harga suatu perubah (*variable*) yaitu komponen tidak akan gagal dengan peluang munculnya harga tersebut dalam populasi waktu.

Berikut ini beberapa fungsi yang digunakan untuk mengevaluasi *reliability* suatu sistem yang disarikan dari Ramakumar [1993] dan Billinton dan Allan [1992].

Dalam pengertian *reliability* "cumulative distribution function" sering dikenal dengan "cumulative failure

KAPAL

distribution" atau $Q(t)$, yang harganya dari 0 sampai mendekati 1 (dari harga terendah menuju harga tertinggi)

Fungsi distribusi komulatifnya adalah :

$$F(t) = P(-\infty \leq T \leq t) = \int_{-\infty}^t f(u) du \quad (1)$$

Turunan pertama dari *cumulative failure distribution* cdf disebut *failure density function* yang sama dengan *probability density function*, p.d.f atau dapat ditulis

$$f(t) = \frac{d}{dt} F(t) \quad (2)$$

$$f(t) = \frac{dQ(t)}{dt} = - \frac{dR(t)}{dt} \quad (3)$$

Nilai harapan dari *variable random* T dengan pdf, $f(t)$ didefinisikan oleh

$$E(t) = \int_{-\infty}^{\infty} t f(t) dt \quad (4)$$

Sedangkan probabilitas komponen akan tetap beroperasi untuk suatu periode waktu atau *reliability*, $R(t)$ melalui hubungan :

$$R(t) = 1 - Q(t) \quad (5)$$

Sehingga fungsi keandalan dan ketidakandalan dapat ditulis

$$Q(t) = \int_0^t f(t) dt \quad (6)$$

$$R(t) = 1 - \int_0^t f(t) dt \quad (7)$$

t : menunjukkan waktu dimana suatu komponen atau system berada pada keadaan andal (*reliability*) jika terletak antara $(t) \rightarrow 0$ (tergantung juga pada nilai *reliabilitinya*) dan keadaan tidak andal jika terletak antara $0 \rightarrow (t)$. Persamaan dapat juga ditulis sebagai berikut.

$$R = \int_t^{\infty} f(t) dt \quad (8)$$

Goodness – of – fit test

Goodness – of – fit test digunakan untuk melakukan pengujian sekumpulan data waktu kegagalan dan waktu *repaire* suatu komponen sehingga akan akan diketahui distribusi komponen tersebut. Metode yang digunakan untuk melakukan pengujian tersebut yaitu *Maximum Likelihood Estimate* (MLE).

Maximum Likelihood Estimate merupakan metode yang digunakan untuk mencari parameter dari distribusi tersebut. Jika ada sekumpulan data pengamatan yaitu misalnya t_1, t_2, \dots, t_n dan data tersebut merupakan random sample dari sebuah

distribusi dengan Pdf $f(t; \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m)$ dimana parameter $(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m)$ tidak diketahui. (Ansell, 1994). Kita dapat menuliskan $(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m)$ dengan θ , sehingga persamaan pdf nya menjadi $f(t; \theta)$. Persamaan Maximum Likelihood Estimate (MLE) yaitu:

$$L(\theta) = \prod_{i=1}^n f(t_i; \theta) \quad (9)$$

Distribusi Exponensial

Distribusi exponensial merupakan distribusi yang paling banyak dipakai di dalam menganalisa keandalan sistem. Ciri utama distribusi ini adalah laju kegagalannya yang konstan. (Kececioglu, 1991)

- ❖ Persamaan fungsi densitas probabilitas:

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (10)$$

dimana:

λ = Constant failure rate.

e = 2.718281828

t = Operating time.

- ❖ Persamaan reliability, unreliability, dan mean to failure :

$$R(t) = \int_0^{\infty} f(t) dt = e^{-\lambda t} \quad (11)$$

Failure Mode and Effect Analysis (FMEA).

Teknik analisa ini lebih menekankan pada *bottom – up approach* yaitu analisa yang dilakukan dimulai dengan memeriksa komponen – komponen tingkat rendah dan meneruskannya ke sistem yang merupakan tingkat yang lebih tinggi serta mempertimbangkan kegagalan sistem sebagai hasil dari semua mode kegagalan (Roger, 1995).

FMEA merupakan salah satu bentuk analisa kualitatif. FMEA bertujuan untuk mengidentifikasi mode – mode kegagalan penyebab kegagalan. Serta dampak kegagalan yang ditimbulkan oleh tiap – tiap komponen terhadap sistem. Kegiatan FMEA tersebut ditulis dalam sebuah bentuk FMEA worksheet (connor, 1993).

Untuk mengetahui ranking kekritisian dari *failure mode* yang berbeda yaitu dengan cara mengkombinasikan *severity level* dan *failure rate* yang dibuat dalam sebuah tabel *criticality matrix*.

Fault Tree Analysis (FTA)

Fault Tree Analysis (FTA) lebih menekankan pada “*top – down approach*” yaitu karena analisa ini barawal dari sistem *top level* dan meneruskannya ke bawah. Titik awal analisa ini adalah pengidentifikasian

mode kegagalan pada *top level* suatu sistem (Connor, 1993).

Sebuah *fault tree* mengilustrasikan keadaan komponen – komponen sistem (*basic event*) dan hubungan antara *basic event* dan *top event*. Sistem kemudian dianalisa untuk menemukan semua kemungkinan kegagalan yang didefinisikan pada *top event*. Setelah mengidentifikasi *top events*, *event – event* yang memberikan kontribusi secara langsung terjadinya *top event* dengan memakai hubungan logika dengan menggunakan gerbang AND (*AND – gate*) dan gerbang OR (*OR – gate*) sampai dicapai *event* besar.

Pengkontruksian *fault tree* dimulai dari *top event*. Sistem dianalisa untuk menentukan semua kemungkinan yang menyebabkan suatu sistem mengalami kegagalan seperti yang didefinisikan pada *top event*. Oleh karena itu, berbagai *fault event* yang secara langsung menjadi penyebab terjadinya *top event* harus secara teliti diidentifikasi. Tabel 2.3 merupakan simbol *fault tree*.

Tabel 2.3 Simbol Fault Tree

Nama Simbol	Simbol	Deskripsi
OR – gate		Kegagalan output akan terjadi hanya jika salah satu input terjadi.
AND – gate		Kegagalan output akan terjadi hanya jika beberapa input terjadi.
Basic events		Kegagalan sebuah basic equipment yang tidak memerlukan penelitian lebih lanjut dari penyebab kegagalan.
Undeveloped events		Event yang tidak dianalisa lebih jauh karena keterbatasan informasi atau alasan lain.
Comment Retangale		Digunakan untuk informasi tambahan

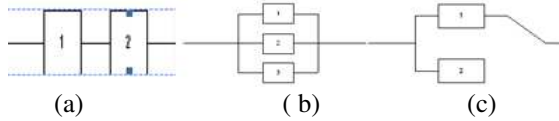
Dari diagram *fault tree* ini dapat disusun *cut set* dan *minimal cut set*. *Cut set* yaitu serangkaian komponen system, apabila terjadi kegagalan dapat berakibat kegagalan pada sistem. Sedangkan *minimal cut set* yaitu set minimal yang dapat menyebabkan kegagalan pada sistem. Untuk mencari *minimal cut set* digunakan *Method for obtaining cut sets* (Mocus) yaitu sebuah algoritma yang dipakai untuk mendapatkan *minimal cut set* dalam sebuah *fault tree*.

Kekritisian dari sebuah *cut set* tergantung pada jumlah *basic events* di dalam *cut set* (*orde cut set*). Sebuah *cut set* dengan orde satu umumnya lebih kritis daripada sebuah *cut set* dengan orde dua atau lebih. Jika sebuah *fault tree* memiliki *cut set* dengan orde satu, maka *top event* akan terjadi sesaat setelah *basic event* yang bersangkutan terjadi. Jika *cut set* memiliki dua *basic event*, kedua *event* ini harus terjadi secara serentak agar *top events* dapat terjadi.

Reliability Blok Diagram

Blok diagram keandalan merupakan gambaran secara grafis tentang hubungan komponen – komponen

yang ada didalam sistem. Suatu sistem dapat dimodelkan dengan susunan seri, parallel, dan *standby*.



Gambar. reliability Block diagram dari berbagai pemodelan

Keterangan:

- (a) : rangkaian susunan seri
- (b) : rangkaian susunan parallel
- (c) : rangkaian susunan *standby*

Penilaian suatu sistem yang dimodelkan dengan susunan seri maka komponen – komponen yang ada didalam sistem tersebut harus bekerja atau berfungsi seluruhnya agar sistem tersebut sukses dalam menjalankan misinya (gambar a).

Sistem yang di modelkan dengan susunan parallel maka sistem akan gagal apabila seluruh komponen yang ada di dalam sistem itu gagal menjalankan fungsinya (gambar b).

Pada sistem yang di modelkan dengan susunan *standby*, maka satu atau lebih komponen berada dalam keadaan *standby* dan siap akan mengambil alih ketika komponen utama mengalami kegagalan (gambar c).

Proses Markov Kontinyu (Continuous Markov Process)

Markov merupakan salah satu metode untuk mengevaluasi keandalan (*reliability*), *mean time between failure* (MTBF) dan ketersediaan (*availability*) suatu system. proses Markov dapat dipakai untuk mengevaluasi system yang kompleks, yang meliputi system *non repairable* atau system *repairable* baik itu seri, parallel maupun *standby*.

Syarat yang harus dipenuhi agar suatu system dapat dimodelkan dengan pendekatan Markov:

- a) Sistem harus memiliki sifat *lack of memory*
Hal ini berarti bahwa keadaan system dimasa yang akan datang tidak tergantung dari keadaan masa lalu kecuali keadaan yang mendahuluinya.
- b) Proses dari system harus stasioner atau homogen
Hal ini berarti bahwa perilaku system adalah sama pada semua titik-titik waktu yang dipertimbangkan.

Pendekatan Markov dapat dipakai untuk memodelkan ruang dan waktu (*space and time*) system baik yang kontinyu maupun diskrit. Umumnya state dari system adalah diskrit, karena system mungkin dalam keadaan *up* atau *down*. Sedangkan waktu umumnya diskrit atau kontinyu. Pemodelan system yang melibatkan pendekatan Markov secara

kontinyu disebut proses Markov (*Markov Process*)

METODOLOGI PENELITIAN

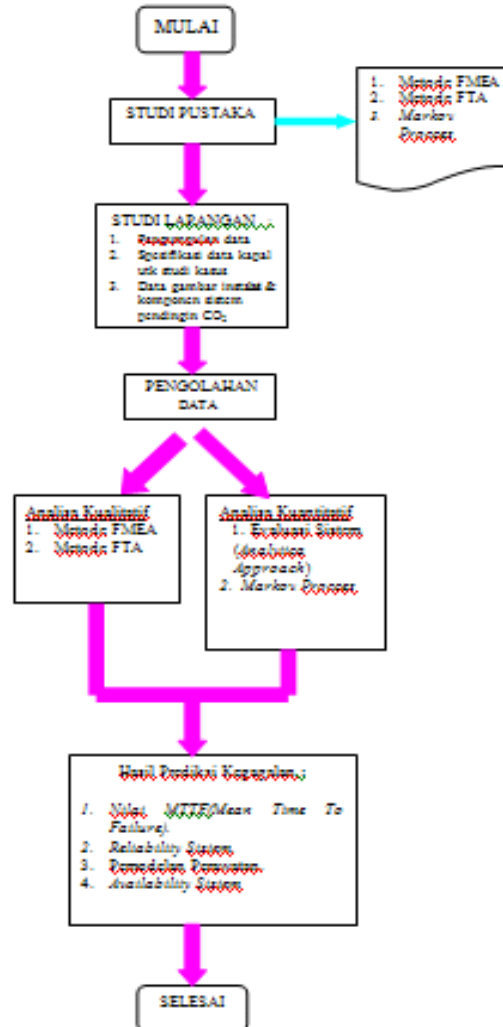


Diagram Alur Penelitian

HASIL ANALISA DATA

Pengumpulan Data

Data-data mengenai daftar jam operasi dan reparasi tiap-tiap komponen sistem pendingin dapat diterangkan sebagai berikut :

Tabel 4.1. Daftar Jam Operasi Tiap-Tiap Komponen

No	Komponen	Jam Operasi	Diskripsi perawatan/perbaikan
1	Kompresor	720	Penggantian belt
		600	Penggantian filter oil separator kompresor
2	Kondensor	720	Pembersihan oil separator kondensor
		1080	Penggantian filter oil separator kondensor
		1440	Perbaikan kondensor
5	Heat Exchanger	1800	Perbaikan HE
		744	Pembersihan HE
		960	Pembersihan HE
4	Katup ekspansi	744	Pembersihan filter katup
		2160	Penggantian filter katup
5	Evaporator	-	Belum terjadi perbaikan

Tabel 4.2. Repair rate komponen

Component	Berapa kali repair dilakukan Pertahun	Berapa lama diperbaiki (jam/hari)
Kompresor	4 kali pertahun	2-3 hari (4 jam/hari)
Kondensor	2-3 kali pertahun	2-3 hari (4jam/hari)
Heat Exchanger	2-3 kali pertahun	2-3 hari (4 jam/hari)
Katup Ekspansi	1-2 kali pertahun	2-3 hari (4jam/hari)

Berdasarkan data-data yang didapat dari kondisi operasional KM. Rukun Arta Sentosa (RAS) 06 dapat diketahui bahwa ada kondisi komponen yang tidak mengalami kegagalan selama kurun waktu 7 tahun yaitu evaporator.

Pengolahan Data

Pengolahan data untuk menentukan distribusi komponen sistem pendingin CO₂ tersebut dilakukan dengan menggunakan software Weibull ++ 4.0 dengan menggunakan metode MLE. Hasil pengolahan software weibull untuk menentukan distribusi tiap-tiap komponen dapat dilihat pada tabel berikut

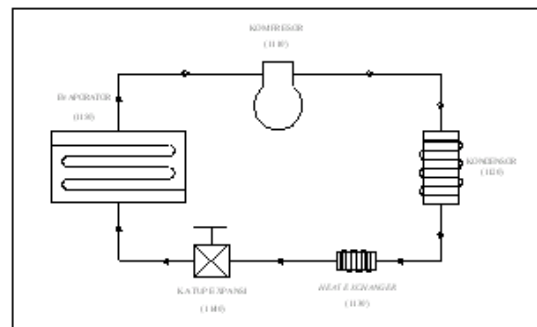
Tabel 4.9 Distribusi komponen sistem pendingin CO₂

Komponen	Distribusi	λ	μ
Kompresor	Exponential 1	0.0015	0.0055
Kondensor	Exponential 1	0.0009	0.0041
Heat Exchanger	Exponential 1	0.0009	0.0041
Katup Ekspansi	Exponential 1	0.0007	0.0027

Table 4.9 menunjukkan bahwa komponen-komponen sistem pendingin yaitu Kompresor, Kondensor, *Heat Exchanger*, Katup Expansi dan Evaporator semua mempunyai distribusi exponential 1 . Dari distribusi komponen-komponen tersebut digunakan untuk melakukan analisa Kualitatif dan analisa kuantitatif.

Diskripsi Sistem Pendingin Palka Ikan Menggunakan Refrigeran CO₂ Dan Kompresi Bantu Dari Energi Panas

Rancangan Diagram distribusi pipa sistem rekayasa pendingin palka ikan dengan menggunakan Referigeran CO₂ dan energi bantu dari energi panas dapat dilihat pada gambar 4.1 dibawah ini



Gambar 4.5 : Diagram Distribusi Pipa Sistem Pendingin CO₂

Cara kerja Sistem pendingin palka ikan menggunakan refrigerant CO₂ dan kompresi bantu dari energi panas yaitu , dimana refrigeran CO₂ yang berada pada kondensor dialirkan ke *heat exchanger* menggunakan kompresor,. Di dalam *heat exchanger* fase cair refrigeran CO₂ diubah menjadi fase gas dengan cara menaikkan temperatur.yang mengakibatkan terjadinya tekanan tinggi sehingga perlu adanya katup ekspansi tekanan gas CO₂ yang akan disalurkan kedalam evaporator. Untuk setiap pengisian refrigeran pada sistem pendingin ini normal yang biasa digunakan adalah 1440 jam pemakaian secara terus menerus atau melihat jumlah takaran volume pada kondensor baru kemudian diisi kembali.

Failure Modes and Effect Analysis (FMEA)

Hasil dari table *criticality matrix Failure Modes and Effect Analysis* (FMEA) dapat dilihat pada tabel berikut

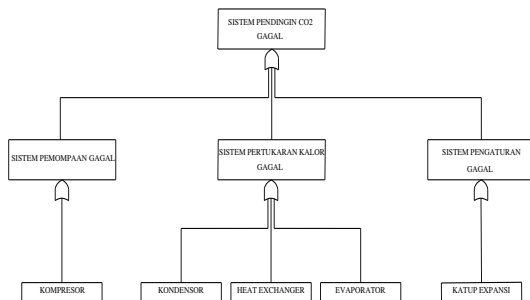
Tabel 4.11 Criticality matrix

Failure rate	Severity Group			
	Minor	Major	Critical	Catastrophic
Frequent			1110	(x)
Probably			1120,1140	
Occasional		1150	1130	
Remote				
Very unlikely (x)				

Table 4.11 *criticality matrix* diambil dengan pendekatan FMEA, jika dilakukan pembacaan dari sudut kiri bawah ke sudut kanan atas maka akan diperoleh komponen-komponen yang makin kekanan atas akan semakin kritis. Komponen tersebut berturut-turut dari kiri bawah ke kanan atas yaitu evaporator, *heat exchanger*, katup ekspansi, kondensor dan kompresor. Sehingga komponen yang mempunyai tingkat kekritisan tertinggi yaitu kompresor. Letak komponen-komponen tersebut didalam *criticality matrix* dipengaruhi oleh laju kegagalan dan tingkat *severity*. Semakin besar nilai laju kegagalan dan *severity*-nya maka letak komponen tersebut semakin kekanan atas yang berarti akan semakin kritis. Sedangkan nilai laju kegagalan komponen dipengaruhi oleh *time to failure* komponen tersebut. Semakin sering komponen tersebut mengalami kegagalan maka semakin besar nilai laju kegagalan.

Fault Tree Analysis (FTA)

Fault Tree Analysis system pendingin palka ikan KM. RAS (Rukun Arta Sentosa) 06 menggunakan refrigerant CO₂ dan kompresi bantu dari energi panas dapat dilihat pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Hasil *Fault Tree Analysis*

Tabel 4.12. MOCUS untuk system tersebut
Tabel 4.12. Algoritma MOCUS

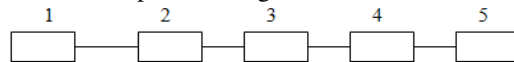
Step	1	2
G1	1	
G2	2	
	3	
	4	
G3	5	

Pada table 4.12 kita mendapatkan *minimal cut set* dari *fault tree* ini adalah : {1}, {2}, {3}, {4}, {5}. Dimana :

- 1 = Kompresor
- 2 = Kondensor
- 3 = *Heat exchanger*
- 4 = Evaporator
- 5 = Katup Expansi

Reliability Block Diagram

Blok diagram keandalan sistem pendingin CO₂ dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 47 Blok diagram keandalan sistem pendingin CO₂

Nama komponen pada blok diagram tersebut yaitu :

1. Kompresor
2. Kondensor
3. *Heat Exchanger*
4. Katup Expansi
5. Evaporator

Fungsi *reliability* yang mewakili system refrigerant CO₂ dapat diturunkan dengan menyederhanakan blok diagram yang mewakili komponen 1, 2, 3, 4 dan 5 menjadi sebuah blok diagram dengan susunan seri, yaitu

$$R_s(t) = e^{-(40 \times 10^{-4})t}$$

Dan *Mean Time To Failure* (MTTF) untuk system diatas adalah :

$$MTTF = 250 \text{ jam}$$

Analisa Kuantitatif Proses Kontinyu Markov (*Continous Markov Process*)

1. State Space

Sistem Markov dapat digambarkan sebagai *state transition diagram*, dimana dalam diagram ini ditunjukkan semua state (keadaan) dan probabilitas yang mungkin terjadi dari satu keadaan (state) ke keadaan lain. Secara umum bila sebuah komponen diasumsikan memiliki dua keadaan yaitu keadaan hidup/berfungsi (*Up*) dan keadaan rusak atau gagal (*Down*) dan seandainya ada n buah komponen didalam sistem maka sistem tersebut akan memiliki *state space diagram* yang terdiri dari 2ⁿ keadaan yang mungkin. Transisi dari keadaan berfungsi ke keadaan rusak/gagal ditunjukkan oleh *failure rate* (λ) sedangkan transisi dari keadaan rusak/gagal ke keadaan berfungsi ditunjukkan oleh *repaire rate* (μ). Mengingat terdapat 3 komponen yang kritis yang dapat mengakibatkan system gagal yang didasari oleh analisa FMEA maka banyaknya kemungkinan perubahan keadaan sebanyak 8 state.

2. Stochastic Transitional Probability (STP) matrix

Berdasarkan *state space diagram* dibuat *Stochastic Transitional Probability (STP) matrix* yang menggambarkan probabilitas perpindahan dari satu state

satu ke state lainnya dalam interval waktu [Billinton,1992]

Jika a_{ij} merupakan elemen dari baris ke i dan kolom ke j pada STP matrik, maka a_{ij} merupakan probabilitas untuk melakukan transisi dari state i yang merupakan awal dari satu interval waktu ke state j setelah waktu interval tertentu.

Semua perhitungan dan nilai *limiting probability state* untuk masing-masing *state* digunakan alat bantu software Matlab 6.1 release 12.1

$$P(t)' = X * P_n(t)$$

Dimana :

$P_n(t)'$: turunan pertama dari $P_n(t)$

X : Koefisien matrik

Secara umum penyelesaian persamaan tersebut untuk mendapatkan harga probabilitas $P_n(t)$ secara matrik adalah

$$P(t) = X^{-1} * P_n(t)'$$

Untuk penyelesaian *steady state* maka algoritma perhitungannya adalah sebagai berikut [Ramakumar,1993] :

1. Merubah STP matrik menjadi koefisien matrik dengan jalan mengurangi semua elemen diagonal matrik dengan 1.
2. Mengganti semua elemen dari salah satu kolom koefisien matrik dengan 1 (X).
3. Untuk mempermudah melihat hasil probabilitas (P_n) maka kita dapat mentranspose matrik X menjadi matrik T .
4. Menentukan matrik kondisi awal (b) atau dengan menggantikan $P_n(t)'$ dengan nilai 0 dan satu dari elemen dalam matrik tersebut yang berkorelasi dengan penggantian kolom dalam koefisien matrik dengan nilai.
5. Menghitung matrik *steady state probability* P sebagai berikut :
6. $P = T^{-1} * b$
7. Dimana :
8. T^{-1} = Invers dari matrik T (T adalah *transpose* matrik X)
9. b = matrik kondisi awal

Proses perhitungan nilai probabilitas dengan menggunakan software Matlab 6.1 release 12.1 dari masing-masing keadaan, sedangkan nilai availabilitas untuk sistem pendingin palka ikan menggunakan refrigeran CO_2 dan kompresi bantu dari energi panas adalah :

- **Availability System** = $A = P_1 + P_2$
= **0.6308**
- **Unavailability system** = $U = 1 - A$
= **0.3692**

KESIMPULAN

Dari hasil analisa dan pembahasan pada penelitian ini didapatkan kesimpulan adalah sebagai berikut:

1. Pada Analisa Kualitatif dengan Metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) didapat bahwa :
 - Pada sistem pemompaan, mode kegagalan yang terjadi pada pompa pada umumnya yaitu tekanan kurang dan kebocoran pada pompa, hal ini disebabkan karena keausan pada packing atau seal pompa, sehingga dampak kegagalan yang terjadi pompa tidak mampu mengalirkan refrigeran ke kondensor sesuai dengan kapasitas.
 - Pada sistem pertukaran kalor mode kegagalan yang terjadi yaitu terdapat kebocoran dan keretakan, hal ini disebabkan karena adanya korosi dan *fatigue* pada komponen tersebut, sehingga dampak yang terjadi:
 - kemampuan kondensor untuk mendinginkan refrigeran jadi berkurang.
 - kemampuan *heat exchanger* untuk menaikkan temperature refrigeran jadi berkurang
 - kemampuan evaporator untuk mendinginkan hasil tangkapan ikan jadi berkurang
 - Pada sistem pengaturan, mode kegagalan yang terjadi karena adanya kotoran dan kebocoran pada *filter* katup ekspansi yang disebabkan karena adanya penyumbatan dan usia dari komponen tersebut, maka dampak yang terjadi refrigeran yang mengalir evaporator masih kotor dan tekanannya tidak sesuai.
 - Kemudian dari hasil analisa dan pembahasan bahwa komponen yang mempunyai kekritisan tertinggi yaitu pada Kompresor. Hal ini sesuai dengan letak *criticality matrix* dipengaruhi oleh laju kegagalan dan *severity*-nya.
2. Pada Analisa Kualitatif dengan metode FTA diperoleh *minimal cut set* dari sistem yaitu {1=kompresor}, {2=kondensor}, {3=*heat exchanger*}, {4=katup ekspansi}, {5=evaporator} merupakan komponen *first order*, dimana jika salah satu dari komponen itu gagal maka keseluruhan sistem pendingin CO_2 akan gagal dalam menjalankan fungsinya.
3. Pada analisa Kuantitatif didapat sebagai berikut:
 - Dalam *analytical approach* diperoleh fungsi reliabilitas dan MTTF (*Mean Time To Failure*) atau waktu rata-rata kegagalan dari sistem adalah 250 jam.
 - Dengan *Markov process*, nilai *availability* atau indeks ketersediaan dari sistem untuk beroperasi dengan kontribusi dari keempat

komponen yang paling kritis didalam system diperoleh sebesar 0,6308 yang berarti bahwa 63,08 % system rekayasa pendingin palka ikan menggunakan refrigerant CO₂ dan kompresi bantu dari energi panas dapat beroperasi dengan baik. Sedangkan nilai *unavailability*-nya yang merupakan indeks ketidaktersediaan dari system adalah sebesar 0.3692 yang berarti system pendingin palka ikan menggunakan refrigerant CO₂ dan kompresi bantu dari energi panas tidak dapat beroperasi 36,92 %.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bhote, Khaki R. and Adi K. Bhote. [2006]. *World Class Reliability*. AMACOM, New York.
2. Billinton. R. and Ronald N. Allan [1992]., *Reliability Evaluation of Engineering System Concept And Technique*. 2nd edition. Plenum Press., New York And London
3. Ebeling. E. Charles. [1997]. *An Introduction to Reliability And Maintainability*. The McGraw-Hill Companies, Inc.
4. Dhillon, B. S. [2004]. *Reliability Quality, And Safety For Engineering*. CRC Press, Washinton DC,USA.
5. Hecht, Herbert. [2004]. *Sistem Reliability And Failure Prevention*. Artech House, Boston, London.
6. Pham, Hoang. [2003]. *Hand Book of Reliability Engineering*. Rutgers University Piscataway, New Jersey, USA.
7. Priyanta, Dwi (2000), “**Keandalan Dan Keperawatan**”, Institute Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
8. Rosyd, DM (2007), “**Pengaantar Rekayasa Keandalan**”, Airlangga University Press, Surabaya.
9. Reliasoft Corporation. [2006]. *Reliasoft's XFMEA version 4*. Reliasoft Plaza, Tucson, AZ, USA.
10. www.wordpress.org. Himpunan Praktisi Tata Udara Dan Refrigerasi. 2004. *Makalah Karakteristik Bahan Dan Aspek Lingkungan Refrigeran Hidrokarbon Menuju Indonesia Bebas ODS*. Bandung. Diakses pada tanggal 21 Oktober 2008 pukul 21.00
11. Wahyono, Agung. 2008. *Perekayasaan Mesin Pendingin Palka Ikan Menggunakan Refrigeran CO₂ Dan Kompresi Bantu Dari Energi Panas*. Balai Besar Pengembangan Dan Penangkapan ikan. Semarang.